ساخت کامپوزیت الیافی پلی‌سولفون/کیتوسان/پلی‌وینیل الکل به‌روش الکتروریسی و بررسی مورفولوژی آن*

ساناز رضایی سولگانی[۱]	مریم رسولی[۲]	زهرا شرافت[۳]

چکیده

در تحقیق حاضر غشای پلی‌سولفون-کیتوسان-پلی‌وینیل الکل به‌روش الکتروریسی تولید شده است. بدین منظور ابتدا گرانول‌های پلی‌سولفون، پلی‌وینیل الکل و پودر کیتو سان به صورت جداگانه در حلال منا سب حل، و محلول‌های پلی‌وینیل الکل و کیتو سان با نسبت‌های مختلف باهم مخلوط شدند. سپس محلول پلی‌سولفون و محلول مخلوط پلی‌وینیل الکل و کیتوسان از طریق ۲ سرنگ مجزا به‌صورت هم‌زمان الکتروریسی شدند. مورفولوژی غشا با آزمون SEM ارزیابی شد. نتایج بررسی تصاویر SEM نشان داد که امکان الکتروریسی محلول کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل با هر نسبتی از کیتوسان وجود ندارد و فقط در مقادیر پایین کیتو سان امکان‌پذیر ا ست. با مقایسه تصاویر SEM مشخص شد که نمونهٔ الیاف کامپوزیتی با نسبت کیتو سان به پلی‌وینیل الکل برابر با ۷۰:۳۰ دارای یکنواختی در مورفولوژی و درعین‌حال حاوی بیشترین میزان کیتوسان است. به علاوه نرخ تغذیهٔ محلول نیز تأثیر بسزایی بر مورفولوژی محصول الکتروریسی این محلول دارد. همچنین تصاویر SEM نشان داد که مورفولوژی الیاف حاصل از الکتروریسی محلول پلی سولفون به غلظت اولیهٔ این محلول وابسته ا ست و در غلظت‌های کمتر از ۲۰ در صد وزنی، مورفولوژی حاصل به صورت ترکیبی از الیاف و مهره است.

واژه‌های کلیدی: الکتروریسی، پلی‌سولفون، پلی‌وینیل الکل، کیتوسان، غشا.

Fabrication of Polysulfone/Chitosan/Polyvinyl Alcohol Composite by Electrospinning Method and Investigation of Its Morphology

S. Rezaei Soulegani	M. Rasouli	Z. Sherafat

Abstract

In the present study, a polysulfone-chitosan-polyvinyl alcohol membrane was prepared through electrospinning. For this purpose, each of the polysulfone, polyvinyl alcohol and chitosan powders were dissolved in a suitable solvent. The polyvinyl alcohol and chitosan solutions were then mixed in different proportions. Subsequently, two separate syringes were used to simultaneously electrospin polysulfone and polyvinyl alcohol/chitosan solutions two . The morphology of the prepared membrane was evaluated using SEM micrographs. From the SEM images, it was clear that the chitosan-polyvinyl alcohol solution can only be electrospun at low chitosan content. Higher chitosan concentrations do not lead to proper fiber formation. The optimum sample with uniform fibers and adaptable chitosan content was obtained when the chitosan to polyvinyl alcohol ratio was fixed at 30:70. It was found that the feed rate has a significant impact on the morphology of the membrane. Moreover, it was concluded that for a uniform and beadless morphology of polysulfone fibers, a minimum concentration of the initial solution is required. According to the fibers morphology, the threshold concentration of polysulfone was 20 wt%.,

Key Words Electrospinning, Polysulfone, Chitosan, Polyvinyl alcohol, Membrane.

* تاریخ دریافت مقاله ۹۸/۳/۲۶ و تاریخ پذیرش آن ۹۸/۱۲/۱۹ می‌باشد.

(۱) کارشناسی ارشد، شناسایی و انتخاب مواد، دانشگاه شیراز.

(۲) کارشناسی ارشد، شناسایی و انتخاب مواد، دانشگاه شیراز.

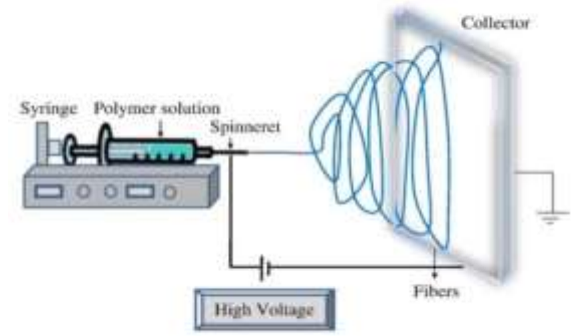
(۳) نویسندهٔ مسئول، استادیار، بخش مهندسی مواد، دانشگاه شیراز.

Email: zsherafat@shirazu.ac.ir

DOI: 10.22067/ma.v32i1.81364

مقدمه

غشاهای پلیمری از جمله پرطرف‌دارترین انواع غشا در کاربردهای تصفیهٔ آب محسوب می‌شوند. امروزه روش‌های متنوعی برای ساخت غشاهای پلیمری وجود دارد که از آن جمله می‌توان به کشش از قالب، جدایش فاز و روش نوین الکتروریسی اشاره کرد. در میان روش‌های یادشده، فرایند الکتروریسی روشی سریع و درعین‌حال ساده برای تولید غشاهای پلیمری است که در سال‌های گذشته به آن توجه شده است [1]. در این فرایند از یک میدان الکتریکی قوی استفاده می‌شود تا به‌وسیلهٔ نیروهای الکترواستاتیکی بر کشش سطحی محلول پلیمری غلبه و آن را به رشته‌های بسیار باریک تبدیل کند. تجهیزات مورد نیاز برای این فرایند معمولاً شامل یک منبع تغذیه ولتاژ بالا برای ایجاد میدان الکتریکی، پمپ سرنگ برای تزریق محلول پلیمری با نرخ مشخص و کنترل‌پذیر و همچنین درام چرخان برای جمع‌آوری الیاف است [2]. شکل ۱ تصویر شماتیک فرایند و تجهیزات مورد نیاز در فرایند الکتروریسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱ تصویر شماتیک از فرایند الکتروریسی [3]

پلی‌سولفون یک پلیمر گرمانرم با خواص منحصربه‌فرد مانند پایداری شیمیایی در کنار استحکام مکانیکی و حرارتی بالاست که به‌طور گسترده در صنایع غشایی کاربرد دارد [4]. با وجود مزیت‌های یادشده، ماهیت آب‌گریز این پلیمر، عیبی بزرگ برای غشاهای تصفیه آب محسوب می‌شود که سبب گرفتگی غ شا می شود و کاهش عمر آن را به‌دنبال دارد [5]. راه‌حلی برای حل این مشکل، کامپوزیتی‌کردن غشا و استفاده از ماده‌ای آب‌دو ست در ساختار آن ا ست. در این پژوهش اولین‌بار ساخت غشای کامپوزیتی با ساختار الیاف دوگانه از جنس الیاف پلی‌سولفون و الیاف کیتوسان بررسی شده است.

کیتوسان یک پلیمر کاتیونی طبیعی است که به‌دلیل خواص ویژه‌ای مانند آب‌دوستی، خاصیت ضدباکتریایی و همچنین خاصیت ضدگرفتگی بالا، در برخی صنایع فیلتراسیون توجه محققان را به خود جلب کرده است [4]. لازم به ذکر است که تولید الیاف این پلیمر به‌صورت خالص و با استفاده از روش الکتروریسی همواره با دشواری‌هایی روبه‌رو بوده است [6]. ازاین‌رو، تحقیقات محدودی در زمینهٔ الکتروریسی کیتوسان انجام شده است [6]. پلی‌وینیل الکل یک پلیمر سازگار با کیتوسان است که برخلاف کیتوسان از قابلیت الکتروریسی زیادی برخوردار است [7]. در این پژوهش نیز سعی شده است با افزودن پلی‌وینیل الکل به محلول حاوی کیتوسان و ایجاد اختلاط این ۲پلیمر، الیاف یکنواخت کامپوزیتی شامل کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل و درعین‌حال حاوی کمترین میزان پلی‌وینیل الکل تولید شود. سپس شبکه‌ای الیافی از جنس ۲ الیاف مختلف (الیاف پلی‌سولفون و الیاف کامپوزیتی کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل) تولید شد و مورفولوژی آن ارزیابی شد.

مواد و روش تحقیق

از آن‌جا که مهم‌ترین عامل در تعیین مورفولوژی و خواص الیاف الکتروریسی، غلظت محلول است، در این راستا ابتدا به‌طور جداگانه غلظت مناسب برای الکتروریسی محلول پلی‌سولفون و همچنین محلول اختلاط کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل تعیین شد و سپس ۲محلول تهیه‌شده در ۲سرنگ جداگانه و در ۲پمپ دستگاه قرار داده شدند و فرایند الکتروریسی انجام شد.

محلول‌سازی و الکتروریسی الیاف پلی‌سولفون

به‌منظور تعیین غلظت مناسب برای الکتروریسی محلول پلی‌سولفون، محلول‌هایی با ۳غلظت ۱۵، ۲۰ و ۲۵درصد وزنی آماده شدند. بدین صورت که مقادیر ۰/۸۳ و ۱/۱۸ و

۱/۵۷۳گرم از پلی‌سولفون (ساخت شرکت BASF) با وزن مولکولی ۶۰۰۰۰گرم بر مول، به ۵میلی‌لیتر دی‌متیل‌فرم‌آمید (ساخت Merck) به‌عنوان حلال اضافه شدند. محلول‌های حاصل‌شده ۲۴ساعت با همزن مغناطیسی هم زده شدند تا محلول‌های همگنی حاصل شود. سپس هر یک از ۳محلول تهیه‌شده در سرنگ ۵میلی‌لیتری تغذیه شد و در پمپ تعبیه‌شده درون دستگاه الکتروریسی قرار گرفت. فرایند الکتروریسی برای هر ۳نمونهٔ تحت ولتاژ ثابت ۱۵کیلوولت و نرخ تغذیهٔ ۱/۵میلی‌لیتر بر ساعت انجام شد. فاصلهٔ نوک سوزن تا جمع‌آورندهٔ الیاف نیز برای هر ۳نمونه ۱۵سانتی‌متر در نظر گرفته شد. مورفولوژی نمونه‌های الکتروریسی‌شده، با میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Cambridge-S320 بررسی شد.

محلول‌سازی و الکتروریسی الیاف کامپوزیتی کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل

برای تولید الیاف کامپوزیتی کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل، از کیتوسان با وزن مولکولی متوسط (ساخت شرکت Sigma Aldrich) و پلی‌وینیل الکل با وزن مولکولی ۷۲۰۰۰گرم بر مول (ساخت شرکت Merck) استفاده شد. همچنین از آب‌مقطر (زلال طب شیمی) و استیک اسید (ساخت شرکت Carl Roth) به‌عنوان حلال استفاده شد. محلول‌سازی در ۲مرحله انجام شد. ابتدا محلول پلی‌وینیل الکل با غلظت ۹درصد وزنی از طریق حل‌کردن ۰/۴۹گرم پلی‌وینیل الکل در ۵میلی‌لیتر آب‌مقطر تهیه شد. به‌طور جداگانه محلول کیتوسان با غلظت ۷درصد وزنی از طریق حل‌کردن ۰/۳۹گرم کیتوسان در استیک اسید ۹۰درصد حجمی تهیه شد. سپس این ۲محلول با نسبت‌های مختلف با یکدیگر مخلوط شدند تا محلول‌هایی با نسبت‌های وزنی متفاوت کیتوسان به پلی‌وینیل الکل شامل ۰:۱۰۰، ۲۰:۸۰، ۳۰:۷۰، ۴۰:۶۰، ۵۰:۵۰ و ۶۰:۴۰درصد حاصل شود. جدول ۱ ترکیب محلول‌های پلیمری تهیه‌شده در این تحقیق و کد تخصیص‌داده‌شده به هر نمونه را نشان می‌دهد. محلول‌های تهیه‌شده حاوی نسبت‌های مختلف کیتوسان به پلی‌وینیل الکل، درون سرنگ ۵میلی‌لیتری تغذیه شدند. یک فویل آلومینیمی برای جمع‌آوری الیاف روی درام پیچیده شد. در این پژوهش فرایند الکتروریسی در ولتاژ ثابت ۱۵کیلوولت و نرخ تغذیه ۱میلی‌لیتر بر ساعت انجام شد. ضمناً فاصلهٔ نوک سوزن تا جمع‌آورندهٔ الیاف برای همهٔ نمونه‌ها ثابت و برابر با ۱۵سانتی‌متر در نظر گرفته شد. مورفولوژی نمونه‌های الکتروریسی‌شده، با میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Cambridge-S320 بررسی شد. در تحلیل تصاویر نیز از نرم‌افزار Image-J استفاده شد. پس از مشخص‌شدن غلظت مناسب برای الکتروریسی، محلول کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل تهیه‌شده در ۳سطح نرخ تغذیهٔ مختلف شامل ۰/۵، ۰/۹ و ۱/۵میلی‌لیتر بر ساعت و ولتاژ ثابت ۱۵کیلوولت الکتروریسی شد تا نرخ تغذیه مناسبی برای الکتروریسی این محلول مشخص شود.

جدول ۱ ترکیب نمونه‌های الیاف کامپوزیتی حاوی نسبت‌های متفاوت کیتوسان به پلی‌وینیل الکل

کد نمونه	نسبت وزنی کیتوسان به پلی‌وینیل الکل
R1	۰: ۱۰۰
R2	۲۰:۸۰
R3	۳۰:۷۰
R4	۴۰:۶۰
R5	۵۰:۵۰
R6	۶۰:۴۰

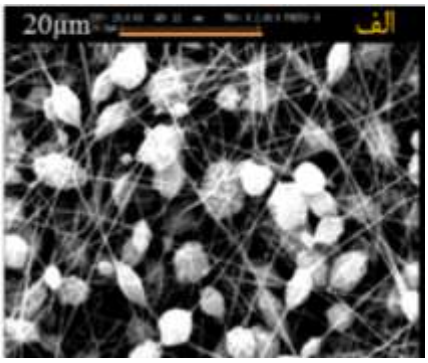
الکتروریسی کامپوزیت الیافی

پس از ارزیابی تصاویر میکروسکوپی و مشخص‌شدن غلظت مناسب برای الکتروریسی محلول پلی‌سولفون و همچنین محلول کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل، هر ۲محلول با غلظت مناسب درون ۲پمپ دستگاه قرار گرفتند. محلول پلی‌سولفون با غلظت ۲۰درصد وزنی و در ۳نرخ تغذیهٔ مختلف شامل ۰/۸، ۱/۴ و ۳/۲میلی‌لیتر بر ساعت و ولتاژ ثابت ۱۵کیلوولت الکتروریسی شد. همچنین برای محلول پلی‌وینیل الکل/کیتوسان نیز با نرخ تغذیهٔ ۰/۹میلی‌لیتر بر

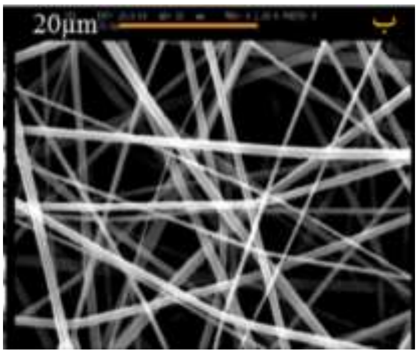
ساعت و ولتاژ ۱۵کیلوولت الکتروریسی شد. لازم به ذکر است که انتخاب این نرخ تغذیه برای الکتروریسی محلول پلی‌وینیل الکل/کیتوسان براساس تصاویر SEM صورت گرفت و همچنین انتخاب ۳سطح مختلف از نرخ تغذیه برای پلی‌سولفون براین‌اساس بود که درنهایت در شبکه کامپوزیت الیافی حاصل (پلی‌سولفون/کیتوسان/پلی‌وینیل الکل) نسبت الیاف پلی‌سولفون به الیاف کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل در شبکه الیافی حاصل به‌ترتیب برابر با ۳۰:۷۰ و ۲۰:۸۰ و ۱۰:۹۰ باشد.

نتایج و بحث

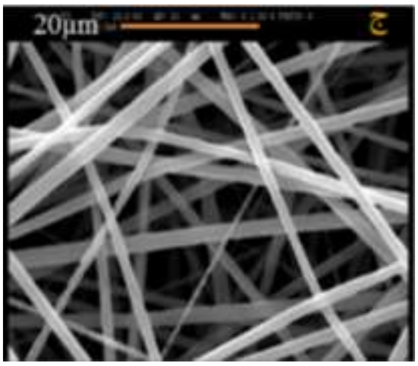
شکل ۲ تصاویر SEM مربوط به نمونه‌های تهیه‌شده از محلول‌های پلی‌سولفون با ۳غلظت ۱۵، ۲۰ و ۲۵درصد وزنی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در شکل ۲- الف، در غلظت ۱۵درصد وزنی، مورفولوژی نمونه به‌صورت مهره‌های کروی است و الیاف بسیار باریکی در بین مهره‌ها مشاهده می‌شود. علت ایجاد این مورفولوژی را می‌توان به پایین‌بودن غلظت و درگیرنشدن کافی بین زنجیره‌های پلیمری نسبت داد که موجب انفصال جت پلیمری در حین کشیده‌شدن شده و ایجاد مهره‌ها را به‌دنبال داشته است. اما با افزایش غلظت به ۲۰درصد وزنی (شکل ۲-ب)، مهره‌ها کاملاً از بین رفته‌اند. دلیل این پدیده آن است که با افزایش غلظت محلول، درگیری بین زنجیره‌های پلیمری پلی‌سولفون افزایش یافته است و از انفصال جت پلیمری در حین فرایند الکتروریسی ممانعت شده است. مطابق شکل ۲-ج که مربوط به نمونهٔ تهیه‌شده از غلظت ۲۵درصد است، الیاف با قطر بیشتر نسبت به غلظت ۲۰درصد حاصل شده است. نتایج حاصل از آنالیز تصاویر با نرم‌افزار Image J نیز نشان داد که میانگین قطر الیاف برای نمونهٔ تهیه‌شده از غلظت ۲۰درصد وزنی برابر با ۰/۹۵۴میکرومتر و برای نمونهٔ تهیه‌شده از محلول پلی‌سولفون با غلظت ۲۵درصد وزنی، برابر با ۱/۵۹۲میکرومتر است. افزایش قطر الیاف در اثر افزایش غلظت محلول پلی‌سولفون بدین صورت توجیه‌پذیر است که در اثر افزایش غلظت، درگیری زنجیره‌های پلیمری افزایش می‌یابد و این مانع از کشیده‌شدن جت پلیمری و کاهش قطر الیاف می‌شود.



(الف)



(ب)



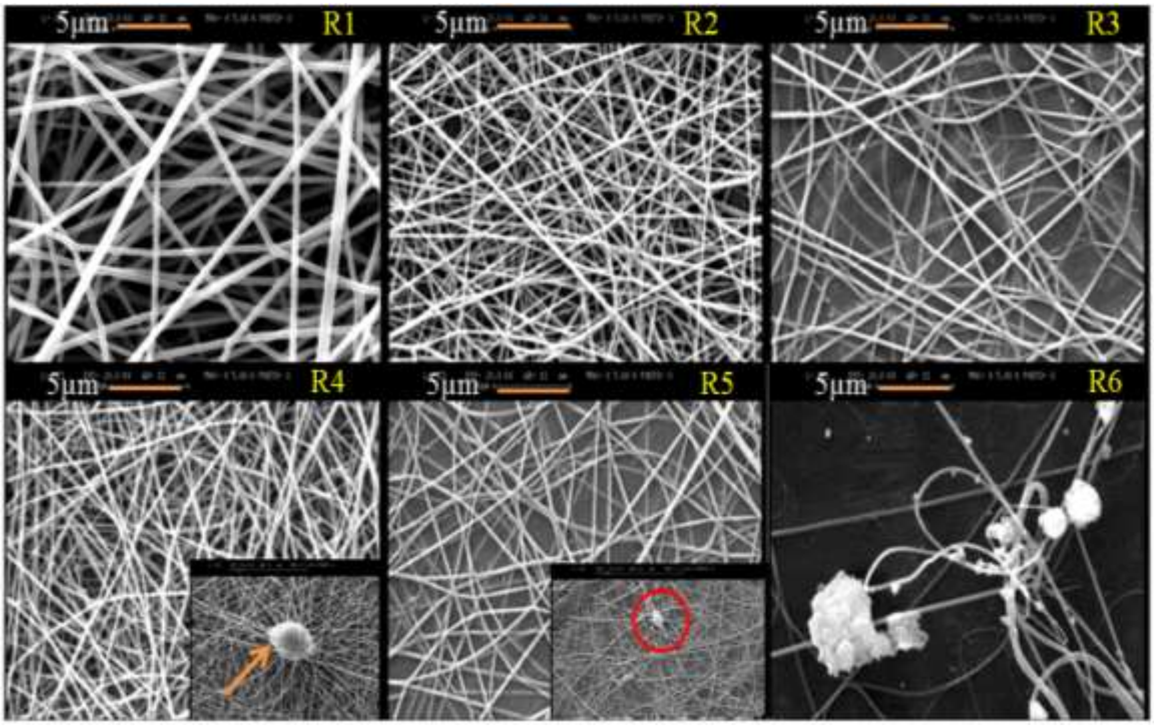
(ج)

شکل ۲ تصاویر SEM از نمونه‌های پلی‌سولفون مربوط به محلول‌های باغلظت: (الف) ۱۵درصد وزنی، (ب) ۲۰درصد وزنی، (ج) ۲۵درصد وزنی، الکتروریسی‌شده در نرخ تغذیهٔ ۱/۵میلی‌لیتر بر ساعت و ولتاژ ثابت ۱۵کیلوولت و فاصله ۱۵سانتی‌متر

شکل ۳ تصاویر SEM تهیه‌شده از سطح نمونه‌های الیاف کامپوزیتی با نسبت‌های مختلف کیتوسان به پلی‌وینیل الکل را نشان می‌دهد. بررسی تصاویر حاصل از

میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان می‌دهد که تشکیل الیاف کیتوسان به‌شدت وابسته به میزان پلی‌وینیل الکل است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در نمونهٔ شمارهR1، الیاف الکتروریسی پلی‌وینیل الکل خالص از مورفولوژی یکنواختی برخوردار است. با افزوده‌شدن درصد کیتوسان به محلول، یعنی در نمونهٔ شماره R2 مشاهده می‌شود که همچنان یکنواختی الیاف الکتروریسی حفظ شده است و شبکه الیاف کامپوزیتی عاری از عیوب الکتروریسی است. همچنین مشاهده می‌شود که قطر الیاف کامپوزیتی در اثر افزوده‌شدن کیتوسان به محلول در مقایسه با قطر الیاف پلی‌وینیل الکل خالص کاهش یافته است و الیاف باریک‌تری ایجاد شده‌اند. این روند در شکل R3 نیز مشاهده می‌شود. دلیل کاهش قطر الیاف کامپوزیتی در اثر افزایش درصد کیتوسان به ساختار این پلیمر برمی‌گردد. کیتوسان یک پلیمر کاتیونی است که گروه‌های آمینی در ساختار خود دارد. این گروه‌های آمینی قابلیت یونیزه‌شدن در محیط اسیدی را دارند و می‌توانند رسانایی محلول پلیمری را افزایش دهند. بنابراین، در این‌جا افزایش رسانایی محلول در اثر حضور گروه‌های عاملی موجود در ساختار کیتوسان، باعث ایجاد دافعه بیشتر در بین بارهای هم‌نام موجود در جت پلیمری شده و چند شاخه‌ای‌شدن و کاهش قطر جت و درنهایت کاهش قطر الیاف را به‌دنبال داشته است [6].

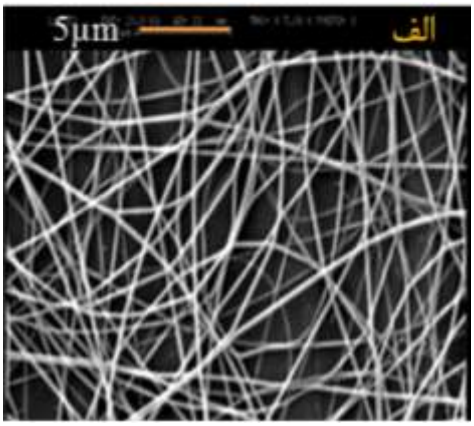
اما همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در نمونه‌های R4 و R5 یکنواختی الیاف تا حدی از بین رفته است و حاوی عیوب دانه‌ای در مورفولوژی آن است که با بزرگ‌نمایی کمتر درون تصاویر نشان داده شده است. همچنین در نمونهٔ R6 نیز که دارای بیشترین مقدار کیتوسان نسبت به دیگر نمونه‌هاست، امکان تشکیل الیاف به‌کلی از بین رفته است. دلیل این پدیده احتمالاً آن است که در نسبت‌های بالای کیتوسان، به‌قدری نیروهای دافعه بین گروه‌های یونی افزایش می‌یابد که امکان تشکیل الیاف پیوسته و عاری از عیوب وجود ندارد. با مقایسه تصاویر SEM در شکل ۳ مشخص شد که نمونه الیاف کامپوزیتی با نسبت کیتوسان به پلی‌وینیل الکل برابر با ۷۰:۳۰ دارای یکنواختی در مورفولوژی و درعین‌حال حاوی بیشترین میزان کیتوسان است. بنابراین، این غلظت به‌عنوان غلظت مناسب برای ساخت محلول کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل انتخاب شد.



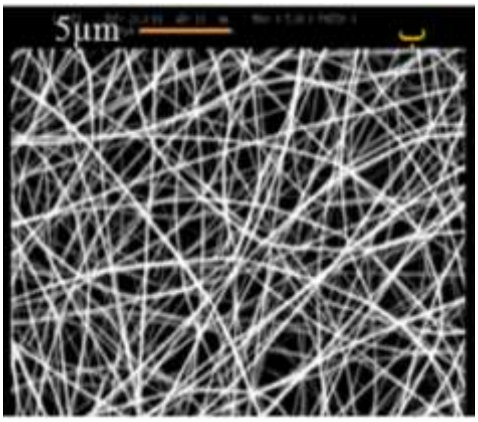
شکل ۳ تصاویر SEM از سطح الیاف کامپوزیتی کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل با نسبت وزنی مختلف

سپس برای تعیین نرخ تغذیهٔ مناسب برای الکتروریسی این محلول، محلول‌هایی با نسبت وزنی کیتوسان به پلی‌وینیل الکل برابر با ۷۰:۳۰ تهیه شدند و در ۳سطح مختلف نرخ تغذیه (شامل۰/۵، ۰/۹ و ۱/۵میلی‌لیتر بر ساعت) و در ولتاژ و ولتاژ ثابت ۱۵کیلوولت و فاصله ۱۵سانتی‌متر الکتروریسی شدند. تصاویر SEM از سطح این نمونه‌ها در شکل ٤ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، نرخ‌های تغذیه بالا (۱/۵میلی‌لیتر بر ساعت) برای الکتروریسی این محلول مناسب نیست و مورفولوژی یکنواختی ایجاد نشده است. دلیل این پدیده آن است که همواره در هر سطح ولتاژ باید نرخ تغذیهٔ متناسب با آن ولتاژ اعمال شود تا پایداری مخروط تیلور در نوک سوزن حفظ شود و امکان ایجاد یک جت پیوسته وجود داشته باشد [8]. بنابراین، نرخ تغذیه‌های ۰/۹ و ۰/۵ به‌عنوان نرخ تغذیهٔ مناسب برای الکتروریسی محلول کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل (با نسبت ۷۰:۳۰) انتخاب شدند.

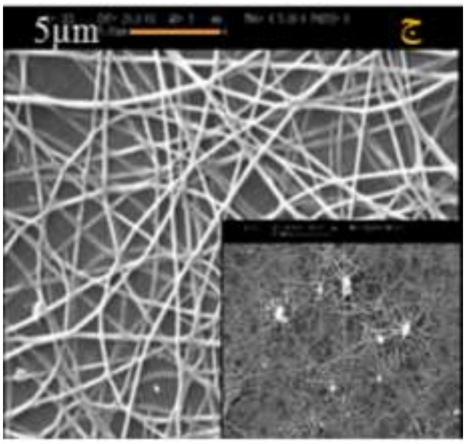
درنهایت برای ساخت شبکهٔ الیافی دوگانهٔ کامپوزیتی از جنس الیاف پلی‌سولفون و الیاف کیتوسان و پلی‌وینیل الکل، ابتدا محلول پلی‌سولفون در دی‌متیل‌فرمامید با غلظت ۲۰درصد وزنی که مطابق شکل ۱ دارای کمترین قطر با الیاف یکنواخت بود، تهیه شد و در یک پمپ دستگاه قرار گرفت. همچنین محلول کیتوسان/پلی‌وینیل الکل با نسبت ۷۰:۳۰ نیز در پمپ مقابل قرار گرفت. نرخ‌های تغذیهٔ ۰/۸، ۱/٤ و ۳/۲میلی‌لیتر بر ساعت برای الکتروریسی محلول پلی‌سولفون و نرخ تغذیهٔ ۰/۹میلی‌لیتر بر ساعت برای کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل اتخاذ شد تا درنهایت در شبکه‌های کامپوزیتی نهایی به‌ترتیب نسبت وزنی الیاف پلی سولفون به کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل برابر با ۳۰:۷۰، ۲۰:۸۰ و ۱۰:۹۰ حاصل شود. تصویر SEM از سطح این ۳نمونه در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه در شکل ۵ مشاهده می‌شود، الیاف کامپوزیتی کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل به‌صورت الیاف بسیار باریک و با قطر بسیار کمتر نسبت به الیاف پلی‌سولفون در شبکه الیافی ظاهر شده‌اند.



(الف)

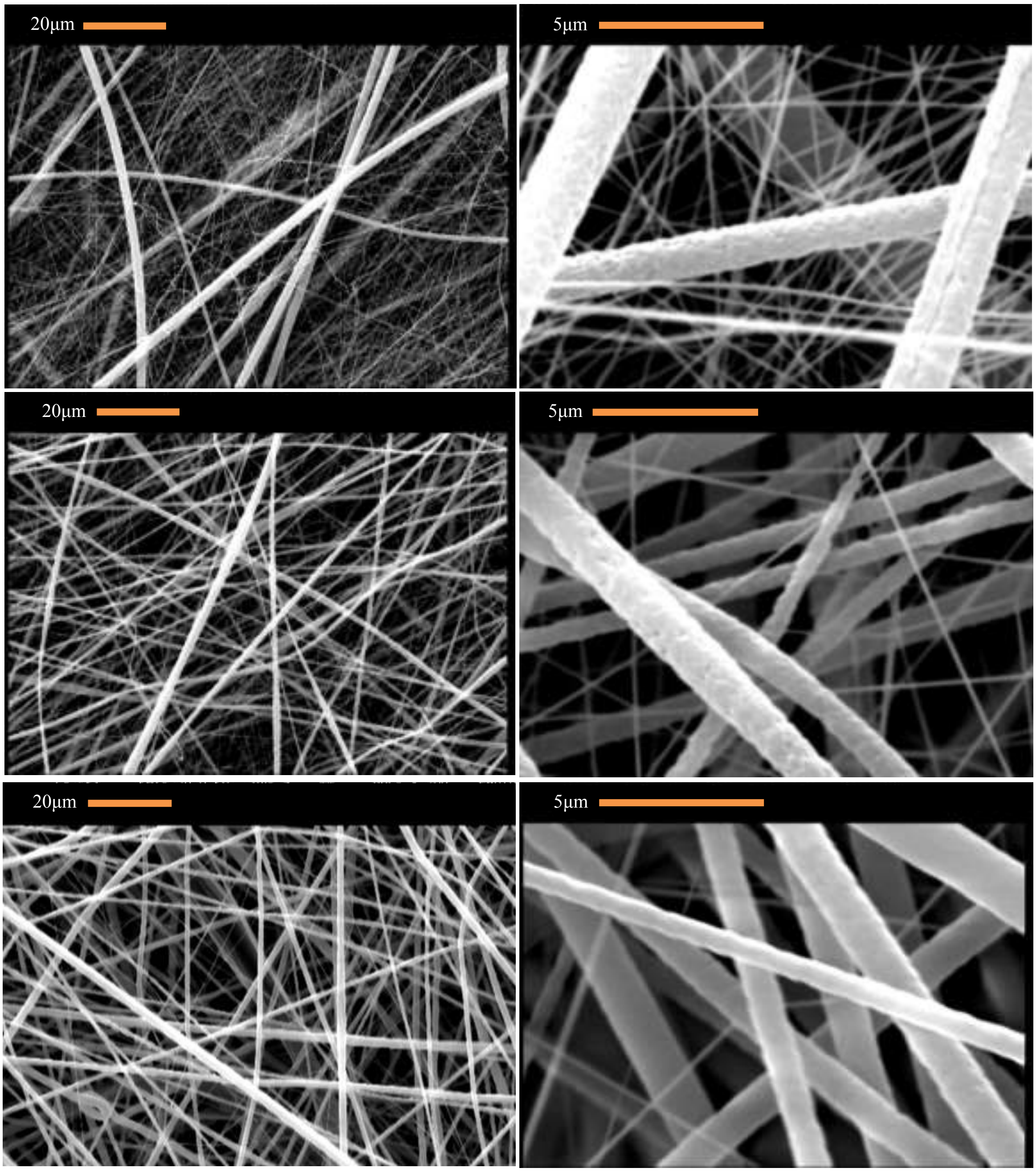


(ب)



(ج)

شکل ٤ تصاویر SEM از نمونه‌های الکتروریسی‌شده با نرخ تغذیه‌های: (الف) ۰/۵، (ب) ۰/۹ و (ج) ۱/۵میلی‌لیتر بر ساعت برای محلول اختلاط کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل با نسبت ۷۰:۳۰



شکل ۵ تصویر SEM از سطح شبکه کامپوزیت الیافی از جنس پلی‌سولفون-کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل با بزرگ‌نمایی‌های مختلف و نسبت‌های مختلف پلی‌سولفون به کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل: (الف) نسبت ۳۰:۷۰، (ب) نسبت ۲۰:۸۰ و (ج) نسبت ۱۰:۹۰

نتیجه‌گیری

در این پژوهش الیاف پلی‌سولفون به‌روش الکتروریسی ساخته شد. نتایج بررسی تصاویر SEM نشان داد که مورفولوژی محصول الکتروریسی به غلظت اولیهٔ محلول پلی‌سولفون وابسته بوده و در غلظت‌های کمتر از ۲۰درصد وزنی پلی‌سولفون در دی‌متیل‌فرمامید امکان ایجاد الیاف وجود ندارد. همچنین الیاف کامپوزیتی کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل با نسبت‌های وزنی مختلف نیز از محلول اختلاط این ۲پلیمر به‌روش الکتروریسی ساخته شد. بررسی تصاویر SEM نیز نشان داد که در محلول‌های ترکیبی نسبت جرمی

اختلاط تأثیر بسزایی بر مورفولوژی الیاف حاصل از الکتروریسی دارد. در این تحقیق مشاهده شد که بهترین الیاف کامپوزیتی کیتوسان/ پلی‌وینیل الکل (با بیشترین مقدار کیتوسان ممکن) و درعین‌حال عاری از عیوب الکتروریسی در نسبت وزنی کیتوسان به پلی‌وینیل الکل برابر با ۷۰:۳۰ وجود دارد.

در این تحقیق همچنین محلول پلی‌ســولفون و محلول مخلوط پلی‌وینیل الکل و کیتوســان از طریق ۲ســرنگ مجزا به‌صورت هم‌زمان الکتروریسی شدند. تصاویر SEM نشان داد که امکان ســاخت غشــای پلی‌ســولفون / کیتوســان / پلی وینیل الکل با مورفولوژی منا سب به‌روش الکتروریـ سی وجود دارد.

مراجع

1. Suja, P. S., Reshmi, C. R., Sagitha, P. and Sujith, A., "Electrospun nanofibrous membranes for water purification", *Polymer Reviews*, Vol. 57(3), pp. 467-504, (2017).
2. Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M. and Ramakrishna, S., "A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites", *Composites science and technology*, Vol. 63(15), pp. 2223-2253, (2003).
3. Zhu, N., and Chen, X., "Biofabrication of tissue scaffolds", In *Advances in biomaterials science and biomedical applications*, InTech, Chapter 12, pp. 315-328, (2013).
4. Liu, L., and Pan, Z., "Properties of Hydrophilic Chitosan/Polysulfone Nanofibrous Filtration Membrane", *Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF)*, Vol. 9(1), pp. 76-86, (2014).
5. Kim, K. S, Lee, K. H., Cho, K. and Park, C. E., "Surface modification of polysulfone ultrafiltration membrane by oxygen plasma treatment", *Journal of Membrane Science*, Vol. 199(1-2), pp. 135-145, (2002).
6. Park, W. H., Jeong, L., Yoo, D. I., and Hudson, S., "Effect of chitosan on morphology and conformation of electrospun silk fibroin nanofibers", *Polymer*, Vol. 45(21), pp. 7151-7157, (2004).
7. Yan, E., Cao, M., Wang, Y., Hao, X., Pei, S., Gao, J., Wang, Y., Zhang, Z. and Zhang, D., "Gold nanorods contained polyvinyl alcohol/chitosan nanofiber matrix for cell imaging and drug delivery", *Materials Science and Engineering C*, Vol. 58, pp. 1090-1097, (2016).
8. Ramakrishna, S., "An introduction to electrospinning and nanofibers", World Scientific, Singapore, (2005).